

25Mn-5Cr-1Ni 鋼の強度に及ぼす介在物の影響の破壊力学的研究

著者	李 俊 鉉
号	1148
発行年	1988
URL	http://hdl.handle.net/10097/9884

氏 名	Lee Joon Hyun 李 俊 鉉
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年 3 月 2 4 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻
学 位 論 文 題 目	25Mn-5Cr-1Ni 鋼の強度に及ぼす介在物の 影響の破壊力学的研究
指 導 教 官	東北大学教授 前川 一郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 前川 一郎 東北大学教授 庄子 哲雄 東北大学教授 高橋 秀明 東北大学教授 阿部 博之

論 文 内 容 要 旨

本研究では低温用構造材料として新しく開発された25Mn-5Cr-1Ni オーステナイト鋼の低温における機械的諸強度特性に及ぼす非金属介在物の影響を明らかにすることを目的として、次のような各問題に対し主に破壊力学的観点から研究を行った。

- (1) 低温における弾塑性破壊靱性 J_{Ic} の評価のための超音波法の低温での適用の有効性
- (2) 疲労き裂成長挙動に及ぼす応力波形の影響
- (3) 疲労き裂の発生及び進展挙動特性、弾塑性破壊靱性とシャルピー吸収エネルギーなどの各特性に及ぼす介在物の影響を明白にするための体系的研究と統一的考察

ここで特に(3)については非金属介在物の含有量及び分布方向を変えた材料を調製して用いた。本論文は、これらの成果を8章にまとめたものである。

第 1 章 緒 論

この章では、本研究の意義を明らかにし位置づけを行うために、研究目的と従来の研究経過を概観して述べた。実用金属材料には一般に種々の内在欠陥が含まれており、その中でき裂については破壊力学の体系が形成されている。しかし実際には介在物が破壊の起点となったことがしばしば報告されており、介在物による破壊の機構に対する研究の重要性が指摘されて来た。介在物の材料強

度に及ぼす影響はその種類、形状、分布や部材の採取方向等によって異なるばかりでなく、負荷様式や材料の使用条件によっても異なる。これらに対する従来の研究は非常に多いにも拘らず相反する結果もあり、また各種強度を対比して総合的に研究したものは少ない。そこで本研究では特に介在物の含有量や分布形態を変えた試験片を用いて一連の研究を行った。

第2章 低温における弾塑性破壊靱性 J_{Ic} の評価

本章では、C.T.試験片と三点曲げ試験片を用いて297K及び198K、77Kで、複数試験片法であるストレッチ・ゾーン (Stretched Zone) 法と単一試験片法である超音波法による弾塑性破壊靱性 J_{Ic} の評価法の比較検討を行い、三点曲げ試験片の J_{Ic} 値の方がC.T.試験片の J_{Ic} の値よりもやや高くなりその差は低温になるとやや大きくなるが、低温での超音波法の適用が有効であることを明らかにした。この結果に基づき以下の章では超音波法による J_{Ic} 値を用いて考察を進めた。

第3章 疲労き裂進展挙動に及ぼす応力波形の影響

本章では as rolled 材に対し、疲労き裂進展挙動に及ぼす応力波形の影響を明らかにするために、応力波形の応力上昇時間及び応力下降時間の効果について考察した。その結果各応力波形における応力上昇時間を変化させたときの疲労寿命は主に繰り返し依存型機構により、また応力下降時間を変化させたときの疲労寿命は時間依存型機構にそれぞれ律速されることや周波数が一定な場合には応力下降時間よりも応力上昇時間の方が疲労寿命に大きい影響を与えることを明らかにした。そして第Ⅱ領域でのき裂進展速度に対する応力上昇及び下降時間の影響は ΔK のレベルによって異なり、 ΔK 値が大きくなければ応力保持時間よりも応力の上昇や下降時の応力変化の方が大きいことから、以下の章の疲労実験においては保持時間のない三角応力波を繰り返した。

第4章 L-T方向材の破壊挙動に及ぼす介在物の影響

本章では、まず介在物が試験片の主き裂進展方向に垂直に伸びているL-T方向材に対して実験的研究を行った。そのため、前章で用いられた高マンガン鋼の母材を含めて、S、Ca及びAl成分の含有量をそれぞれ調整することによって介在物の種類、含有量を変えた4種類の試験片について、297K～77Kでの温度範囲で弾塑性破壊靱性、疲労き裂の発生及び進展挙動とシャルピー吸収エネルギー等の評価を行い、介在物がこれらの機械的諸性質に及ぼす影響について、各試験片に分布する介在物の種類、含有量と大きさ等の因子を考慮しながら考察した。その結果、介在物の方向によってはき裂の進展速度は低下することもあり複雑な進展挙動を見せることや、衝撃のような負荷には危険な強度低下を起こすこと等が明らかにされた。

第5章 き裂進展面に伸びた介在物の強度に及ぼす影響

本章ではS、Al成分の含有量の調整により、介在物の分布量を変えたA、B両材のS-L、S-T方向材につき、下限界応力拡大係数 ΔK_{th} 、破断寿命 N_f 、弾塑性破壊靱性 J_{Ic} 及びシャルピー吸収エネルギー vE 等の各強度特性に及ぼす介在物の影響について調べ、S-L、S-T両方向材

の間の疲労き裂進展の様子が異なることを明らかにし、その機構を主き裂と介在物から発生した微小き裂との連結モデルに基づいて考察した。またこれらの各強度に対する介在物の影響は介在物の方向性によるよりも分布量による影響の方が大きいことを指摘した。

第6章 S-L, S-T方向材の疲労強度に及ぼす介在物の影響

本章では、低温環境における下限界領域近傍での疲労き裂進展挙動に及ぼす伸長形MnS介在物及び破面の表面粗さの影響について考察した。さらにき裂進展の第Ⅱ領域における疲労き裂進展挙動に及ぼすMnS介在物の影響についても、破面観察結果を含めて考察した。さらに297Kと113Kにおける疲労き裂進展機構に対する介在物の影響の相違についても明らかにした。

第7章 疲労寿命とその統計的性質に及ぼす介在物の分布の影響

本章では疲労寿命に及ぼす介在物の分布状況の影響及び疲労寿命のばらつきに及ぼす介在物の影響を明らかにするために、介在物の含有量が異なる2種類の材料の圧延方向(L)材と圧延方向に垂直方向(T)材の丸棒試験片を用いて疲労実験を行って考察した。疲労寿命のばらつきを二母数ワイブル分布によって整理した結果、L方向材の方がT方向材より大きく、介在ワイブル分布によって整理した結果、L方向材の方がT方向材より大きく、介在物の含有量が多い比較材よりも少ない母材の方がばらつきが大きくなった理由を考察し、さらに低温において、また低応力振幅になると疲労寿命のばらつきは大きくなることを明らかにした。そしてこの結果を破断面の疲労破面率から考察しほぼ良好な値を得た。

第8章 結 論

本章は、各章の末尾にそれぞれ述べたまとめを簡潔に要約して総括したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

25Mn-5Cr-1Ni鋼は、低温で延性に富み強度も高いため極低温用構造鋼として期待されている。ところで、機械構造物の疲労破壊の起点にはしばしば介在物が検出されているにも拘らず介在物が強度に及ぼす影響は完全には解明されていない。

そこで本研究は、この高マンガン鋼の母材のほかに介在物の分布状態を変えた材料の試験片を製作し、破壊じん性、疲労き裂の挙動、衝撃値等に及ぼす介在物の影響を明らかにしたもので、全編8章より成る。

第1章は緒論であり、多数の文献の検討をして本研究の位置づけを行っている。

第2章では、低温における弾塑性破壊じん性の測定に超音波法を適用して、その実用的有効性を述べている。

第3章では、繰り返し荷重波形が疲労寿命に及ぼす影響を、特に応力上昇及び下降時間を系統的に変えて明らかにし、応力上昇時間の影響が大きいこと、寿命は繰り返し速度が2.5Hz以下では負荷時間依存型、それ以上では繰り返し速度依存型となることを示している。

第4章では、介在物含有量を変えた4種の材料の圧延方向に対してLT方向の試験片の疲労寿命は介在物の存在によって却って延びることを明らかにし、モデルの数値計算と電顕観察によってその理由を考察している。また破壊じん性や衝撃値との比較から、動荷重下では介在物による強度低下が増すことを示している。これは強度の統一的考察上重要な成果である。

第5章では、圧延方向に対しSL及びST方向の試験片につき疲労き裂進展挙動を明らかにし、その機構を提示している。

第6章では、低応力振幅下での疲労き裂進展につき詳細な考察を行い、低温では介在物の破壊により主き裂の進展速度が低下することがあることを述べている。

第7章では、疲労寿命のばらつきを破面観察に基づく主き裂と分布き裂の合体モデルによって考察し、実験と合致することを示している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、高マンガン鋼の諸強度に及ぼす介在物の分布状態の影響を破壊力学的に明らかにしたもので、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。